ボルダの振り子 BP-40形

1790年にフランス物理学者ボルダ(Borda)が考案したもので，重力加速度gの測定に用います。また装置は実験を通して器具の正しい取り扱い方，実験の方法，測定値の計算，など基礎的な測定実験技術の習得を目的として多く用いられているものです。

装置の内容

1. ブラケット(取り付け用木ねじ4ケ)　1個
2. 刃受け台(水平調節ねじ付き)　1個
3. ナイフエッジ(チャック，調子玉付き)　1個
4. 金属球(つり線取りつけ用ねじ付き)　1個
5. つり線　ピアノ線0.3 mm，長さ1.5 m　1本
6. 金属球用ドライバー　1個
7. 格納箱(部品②〜⑥を格納)1個

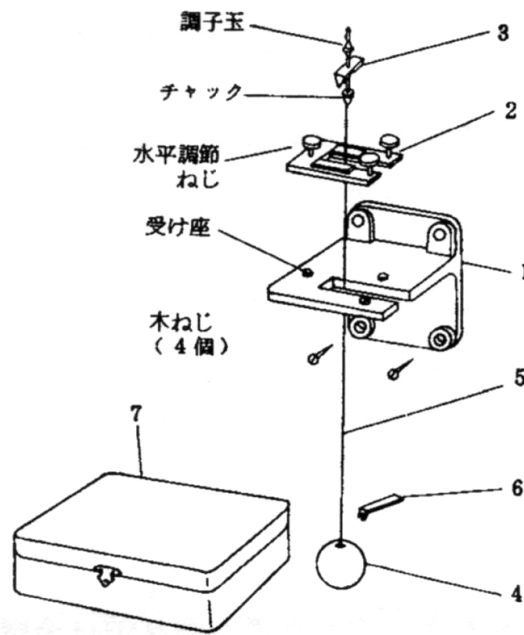



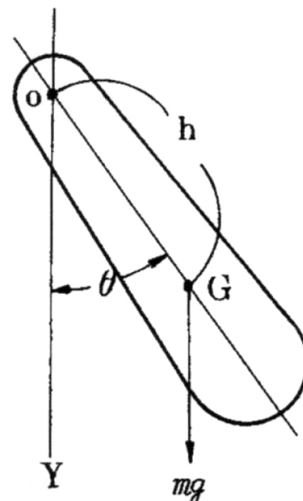
図1　装置の内容と組み立て方

原　理

図2のような質量m，重心の位置Gの剛体が水平固定軸0のまわりに重力の作用で回転運動を行なうとき，空気抵抗や軸の摩擦を無視するなら

$$I\frac{d^2\theta}{dt^2} = -mgh\,\mathrm{Sin}\theta$$

ただしIは軸Oのまわりの慣性モーメント，θはOGと鉛直線OYとのなす角で，θが5°以下ならSin$\theta \fallingdotseq \theta$とみて

図2　原理図

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{mgh}{I} \cdot \theta \qquad (1)$$

ゆえにこの単振動の周期をTとすると，

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgh}} \qquad (2)$$

式中の慣性モーメントIおよびhは測り易いものであることが望ましい。ボルダの振り子はこれらの点を留意したもので，質量が無視できるほど細い針金で，半径r，質量mの金属球をつりさげナイフエッジを支点として振動します。

この振り子のナイフエッジから金属球の上端までの距離をlとすると振り子の長さhは$l+r$で，支点のまわりの慣性モーメントは

$$I = m(l+r)^2 + \frac{2}{5}mr^2 \qquad (3)$$

となります。（この式の第2項は金属球の重心のまわりの慣性モーメント）

(3)式を(2)式に代入し，重力加速度gを求める式になおすと，

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2}\left\{(l+r) + \frac{2r^2}{5(l+r)}\right\} \qquad (4)$$

で表わされます。

また，(4)式のカッコ内の第2項は第1項に較べ小さいので省略する場合もあります。

$$g = \frac{4\pi^2(l+r)}{T^2} \qquad (5)$$

使　用　法

＜準備品＞

ボルダの振り子，読取望遠鏡，ストップウオッチ，巻尺（鋼製2m），ノギス，水準器。

＜実験操作＞

1）まず，装置のブラケットを壁または柱に取りつけます。（常設）
その先端に金属球をつるし，ナイフエッジを刃受け台にまたがせるようにのせ10回振らして，その周期を測ってみます。

つぎに，ナイフエッジからつり線と金属球を外し，ナイフエッジ部だけをまた10回振らしてその周期を測り，さきに測った周期とおよそ等しくなるように調子玉の位置を調節します。

（これによってナイフエッジが振り子に与える強制振動の影響を除くことができます。）

2）調節が終ったら再び，ナイフエッジのチャックにつり線を取りつけ刃受け台にのせ金属球を垂下させます。

ついで，望遠鏡（鏡内の十字線がはっきり見えるように接眼レンズを調節しておきます）を振り子から約2m離れた机上においてピントを振り子のつり線に合わせ，つり線と十字線とを一致させます。

3）つぎに，振り子を鉛直線と3°〜5°ぐらいの角をなすよう振動させます。

振動させるには，木綿糸で輪を作りこれを金属球にはめて一方に引き手放すか，他の物体に結びつけマッチで焼き切ります。金属球が不規則な軌道を描くときはやり直します。

周期の測定作業は，望遠鏡による観測者と時刻を読みとり記録する記録者の協同で行ない，観測者はつり線が鏡内十字線の交点を右から左へ

（または左から右へ）通過するときを１回，２回，３回，……と数えて１０回ごとに合図をする。記録者はストップウオッチを注視しながら合図ごとの時刻を１９０回まで1/10秒まで読みとり表1のように記録して振り子の平均周期Ｔを合理的に求めます。

表１　振り子の周期（測定例）

振動回数	通過時刻 t_1	振動回数	通過時刻 t_2	100回の振動時間 t_2-t_1
0	分11. 3秒	100	4分17.0秒	4分05.7秒
10	36. 0	110	4　41.6	4　05.6
20	1　00. 3	120	5　06.2	4　05.9
30	1　25. 1	130	5　30.6	4　05.5
40	1　49. 7	140	5　55.3	4　05.6
50	2　14. 4	150	6　19.9	4　05.5
60	2　38. 8	160	6　44.5	4　05.7
70	3　03. 4	170	7　09.1	4　05.7
80	3　28. 0	180	7　33.6	4　05.6
90	3　52. 5	190	7　58.2	4　05.7
			平　均	4分05.65秒

平均周期Ｔ＝$\frac{4分05.65秒}{1100}$ ＝ 2.4565秒

振り子の長さ（$l+r$）＝148.05cm＋1.99cm＝150.04

（測定場所　京都，g＝979.7212cm/s²

$$g=\frac{4\pi^2(l+r)}{T^2}=\frac{5917.338}{6.0344}\fallingdotseq 980.601\,\mathrm{cm/s^2}$$

4）最後に，振り子の刃先から金属球の上端までの長さ l，および金属球の直径２ r を測定し，振り子の長さ l ＋ r（cm）を求めます。

5）以上の測定値を次式に入れて重力加速度 g を求めます。

$$g=\frac{4\pi^2}{T^2}\left\{(l+r)+\frac{2r^2}{5(l+r)}\right\}(cm/s^2)$$

又は　$$g=\frac{4\pi^2(l+r)}{T^2}\quad(cm/s^2)$$

6）観測者を代えてこの実験を繰返し結果の平均値を求め，重力実測表（理化年表，丸善発行など）の値と比較し誤差率を求めてみます。

注　意

1.　器具の取扱いはていねいにし，とくにナイフエッジは傷をつけないよう注意してください。

2.　この実験の測定値は周期Tと振り子の長さ（ l ＋ r ）の測定精度によってきまります。とくにTは T^{-2} で表れますので，ストップウオッチはできるだけ正確なものを用いてください。

参考文献

書名	著者	出版社
生物学実験	吉田卯三郎 武居文助	三省堂
基礎物理学実験	平田森三	裳華房
物理学実験	吉川泰三	学術図書
基礎物理学実験	影山誠三郎 沢田正三	朝倉書店

株式会社 島津理化

〒136-0071　東京都江東区亀戸６丁目１番８号

TEL.（03）5626-6600　　URL：http://www.shimadzu-rika.co.jp

本製品の技術的お問合せは，コールセンターまで

フリーダイヤル　0120-376-673（携帯電話，PHS ではご利用になれません。）

受付時間　平日 9：00～12：00，13：00～17：00

e-mail：soudan@shimadzu-rika.co.jp　　FAX：（075）823-2804

M123050D0907TY020

2009.07.20TD (E-323)